

Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Pengelasan di Bawah Air Karena Pengaruh Variasi Jenis Pelindung *Flux* Elektroda

Septian Adi Pranata, Heri Supomo

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknoklogi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail :hsupomo@na.its.ac.id

Abstract—*Underwater welding* diperlukan karena pada umumnya struktur yang beroperasi di laut dirancang kurang lebih 20-30 tahunan dan selama rentang waktu tersebut maka konstruksi tersebut haruslah terjamin dari segi keselamatan dan kekuatannya. Lingkungan laut yang korosif juga dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan dan mengakibatkan kerusakan. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi pelindung *flux* elektroda dan tebal pelat pada pengelasan di bawah air. Dari data hasil pengujian korosi diketahui bahwa pengelasan basah di bawah air dengan pelindung *flux* elektroda isolasi memiliki laju korosi yang lebih baik daripada menggunakan lilin dan sealent. Nilai laju korosi tertinggi adalah pelat tebal 12 mm dengan variasi pelindung *flux* elektroda berupa sealent sebesar 0,456935 mmpy, sedangkan nilai laju korosi terendah adalah pelat tebal 10 dengan variasi pelindung *flux* elektroda berupa isolasi sebesar 0,212443 mmpy. Sedangkan untuk perbedaan tebal pelat, Semakin tebal pelat semakin besar pula laju korosinya. Untuk pelat 10 mm, nilai laju korosi untuk pelindung *flux* berupa isolasi sebesar 0,212443 mmpy, untuk lilin sebesar 0,273485 mmpy dan untuk sealent sebesar 0,281885 mmpy. Sedangkan untuk pengelasan untuk pelat 12 mm, nilai laju korosi untuk pelindung *flux* berupa isolasi sebesar 0,32037 mmpy, untuk lilin sebesar 0,33089 mmpy dan untuk sealent sebesar 0,456935 mmpy. Nilai laju korosi tertinggi adalah pelat tebal 12 mm dengan variasi pelindung *flux* elektroda berupa sealent sedangkan nilai laju korosi terendah adalah pelat tebal 10 dengan variasi pelindung *flux* elektroda berupa isolasi.

Kata kunci—Laju korosi, Pengelasan di bawah air, Pelindung *flux* elektroda, Tebal pelat

I. PENDAHULUAN

Teknik pengelasan merupakan suatu cara yang digunakan dalam penyambungan logam untuk segala macam jenis konstruksi, seperti kapal, bangunan lepas pantai, pipa-pipa dan lain sebagainya. Dalam perkembangannya, teknik pengelasan sudah di desain tidak hanya untuk memperbaiki struktur yang berada di udara terbuka namun juga di desain untuk memperbaiki struktur yang tercelup di dalam air. Teknik pengelasan yang dilakukan di dalam air atau *underwater welding* diperlukan karena pada umumnya struktur yang beroperasi di laut dirancang kurang lebih 20-30 tahunan dan selama rentang waktu tersebut maka konstruksi tersebut

haruslah terjamin dari segi keselamatan dan kekuatan untuk konstruksi di bawah air akibat beban-beban yang diterima dari lingkungan sekitar. Lingkungan laut yang korosif juga dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan dan mengakibatkan kerusakan. Kerusakan tersebut bisa disebabkan oleh bermacam-macam penyebabnya dan salah satunya adalah korosi. Korosi bisa diakibatkan karena struktur terendam di dalam air. Ketika kerusakan itu berada di bawah air, maka diperlukan teknologi bawah air dengan penanganan yang khusus. Hal ini disebabkan karena semakin pentingnya pengelasan di bawah air atau *underwater welding* untuk menunjang kebutuhan perbaikan seperti konstruksi kapal dibawah garis air, pemasangan *zinc anode*, penyambungan dan perbaikan pipa-pipa dibawah permukaan air dan reparasi kaki-kaki anjungan minyak lepas pantai [3]. Melalui Tugas Akhir Ini, akan dilakukan penelitian tentang analisa perbandingan laju korosi pada pengelasan dibawah air karena pengaruh variasi jenis pelindung *flux* elektroda. Dalam hal ini elektroda yang digunakan adalah AWS E6013 dengan pelindung *flux* elektroda (waterproof) yang digunakan adalah isolasi, lilin dan sealent. Dari variasi jenis pelindung *flux* elektroda tersebut diharapkan diperoleh jenis pelindung *flux* elektroda yang paling baik mutu lasnya dan nilai laju korosinya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penyelesaian penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mencari teori-teori dan kata-kata yang akan digunakan dalam penelitian dan analisa. Data-data dan teori yang digunakan dapat diperoleh dari :

1. Situs Internet
2. Penelitian sebelumnya
 - Tugas Akhir Phytra Agastama(2010)
3. Buku yang relevan
 - Bahan Kuliah Korosi oleh Ir. Heri Supomo, M.Sc
 - Bahan kuliah Teknologi Las oleh Wing Hendropasetyo A.P., ST., M.Eng

2. Persiapan Material Las

Material yang digunakan adalah Pelat Baja jenis Mild Steel ASTM A36, dimana termasuk baja karbon rendah [4]. Spesimen uji dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran dan tipe sebagai berikut:

- Tipe : Mild Steel A36
- Panjang : 300 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 10 mm dan 12 mm
- Kampuh : single V-groove

3. Proses Pengelasan

Proses pengelasan ini bertujuan untuk menggabungkan dua buah pelat hingga membentuk sebuah spesimen yang nantinya akan dihasilkan sambungan las guna diujikan pada langkah pengerjaan berikutnya. Prosedur pengelasan mengacu pada Welding Procedure Specification (WPS) berdasarkan AWS D.1.1 2004 tentang prosedur pengelasan material baja [3]. Pada pengelasan dibawah air digunakan polaritas DCSP dimana stang las terhubung dengan kutup (-) dan penjepit las terhubung dengan kutub (+)[2].

a. SMAW Wet Welding

- ✓ Persiapan spesimen uji dan bahan penelitian:
 - Spesimen baja A36 dengan ukuran 300 x 150 x 10 mm yang telah di bevel.
 - Elektroda las AWS E 6013 dengan diameter 2,6 mm dan 3,2 mm yang telah dicoating dengan isolasi, lilin dan sealent.
 - Larutan pengganti air laut dengan salinitas 33%
- ✓ Langkah-langkah pengelasan tersebut secara umum adalah:
 - Pemasangan tanggem untuk mengurangi terjadinya deformasi dan agar material tidak bergeser pada material las. Di bawah ini adalah proses pemasangan tanggem las dengan di *tack weld*.
 - Mesin las disiapkan termasuk polaritas, besarnya arus dan voltase mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dari WPS.

b. Welding Process : Shield Metal Arc Welding (SMAW) dengan WPS sebagai berikut :

- Type : Manual
- Joint Design : Butt Joint, Single V-groove
- Base Metal : Groove : 5-10 mm
- Filler Metal :
 - a. AWS no. (Classification) : E 6013
 - b. Diameters : 2,6 mm dan 3,2 mm
 - c. Welding position : 1G (flat position)
- Interpass Temperature : 50°-300°
- Current (AC or DC) : DC
- Polarity : DCSP (straight polarity)
- Ampere (Range) : 70-120 Ampere
- Voltage (Range) : 22,8-24,8 V
- String or Weave Bead : Both

- Initial and Interpass Cleaning : Chipping, Brushing and Grinding
- Technique : Back Weld / Grinding
- Travel of Speed : 40-120 mm/minute
 - Proses pengelasan mulai dilakukan di dalam aquarium dengan media air berupa larutan pengganti air laut.
 - Setelah pengelasan pada layer pertama selesai maka permukaan las dibersihkan dari kerak dengan menggunakan palu dan sikat baja.
 - Untuk layer kedua, ketiga, keempat dan kelima dilakukan langkah sama dengan layer pertama, pembersihan alur dengan gerinda merupakan pekerjaan yang tidak wajib dilakukan.
 - Setelah pengelasan hingga layer keempat untuk tebal 10mm dan layer kelima untuk tebal 12mm, kemudian tanggem las dilepas dan dilakukan back weld.

Semua kegiatan yang berkaitan dengan proses pengelasan dengan berdasarkan langkah diatas harus dicatat secara teliti yang mencakup besarnya arus, voltage, waktu pengelasan setiap layernya.

Setelah pengelasan selesai, maka pelat dipotong dengan mesin potong untuk persiapan spesimen uji . pada daerah tepian (ujung awal dan akhir las-lasan) spesimen 1 inch. Hal ini dilakukan untuk mengeliminir hasil las-lasan yang biasanya buruk di daerah awalan dan akhiran. Selebihnya pemotongan spesimen dibuat sesuai kebutuhan pengujian.

4. Uji Korosi

Pengujian uji korosi berdasarkan ASTM G48 [5]. Pemotongan spesimen uji korosi dengan ukuran (50 x 25 x 10 mm) dan (50 x 25 x 12 mm) sebanyak 4 buah (untuk masing-masing variasi tebal pelat dan pelindung *flux* elektroda). Sehingga jumlah spesimen yang digunakan untuk uji korosi sebanyak 24 buah. Setelah sepesimen di buat maka di beri resin pada sisi-sisinya karena pada pengujian korosi, spesimen yang akan di uji korosi adalah daerah weld metalnya saja.

Dari data tabel 1 dibawah ini, dapat diketahui bahwa nilai laju korosi spesimen, semakin tebal pelat, nilai laju korosinya juga semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa nilai laju korosi berbanding lurus dengan nilai kerapatan arus. Semakin besar nilai kerapatan arus, semakin juga nilai laju korosinya, begitu juga sebaliknya [1]. Pada tabel dapat dilihat nilai laju korosi tertinggi adalah pelat tebal 12 mm dengan pelindung *flux* elektroda berupa sealent sebesar 0,456935 mmpy, sedangkan nilai laju korosi terendah adalah pelat tebal 10 mm dengan pelindung *flux* elektroda berupa isolasi sebesar 0,212443 mmpy. Nilai laju korosi tertinggi berturut adalah dengan variasi pelindung *flux* elektroda dan tebal berupa Isolasi(10) < Lilin(10) < Sealent(10) < Isolasi(12) < Lilin(12) < Sealent(12).

No. Spesimen Uji	Pengelasan di Bawah Air Tebal 10 mm			Pengelasan di Bawah Air Tebal 12 mm		
	Isolasi (mm/year)	Lilin (mm/year)	Sealent (mm/year)	Isolasi (mm/year)	Lilin (mm/year)	Sealent (mm/year)
1	0,18297	0,28786	0,2475	0,30605	0,32645	0,48813
2	0,23423	0,28572	0,27243	0,29885	0,34967	0,43142
3	0,2096	0,25981	0,28881	0,38585	0,3189	0,44949
4	0,22297	0,26055	0,3188	0,29073	0,32854	0,4587
Laju Korosirata-rata	0,212443	0,27348	0,28188	0,3203	0,33089	0,45693

Tabel 1. Hasil Laju Korosi

5. Uji Tarik

Pada pengujian tarik, spesimen yang dibuat menggunakan standart AWS D.1.1. pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari material dan mengetahui kualitas hasil las-lasan. Di bawah ini adalah hasil uji tarik dan standart spesimen sesuai standart AWS D.1.1

Dari tabel 2. di bawah ini dapat diketahui bahwa dari dua spesimen uji tarik tersebut semua spesimen patah di daerah weld metal. Kuat tarik spesimen yang patah di daerah weld metal 506,120 MPa, 504,663 MPa dan 477,717 MPa.

Menurut AWS 2010, kriteria pengujian tarik dapat diterima bila kuat tarik spesimen tidak kurang dari :

1. Kuat tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar, atau
2. Kuat tarik minimum yang ditetapkan dari logam dasar yang terlemah, apabila dasar logam terdiri dua logam dasar logam yang berlainan kuat tarik minimumnya.
3. Kuat tarik minimum dari logam lasan, bila standar yang digunakan menentukan penggunaan logam lasan dengan kuat tarik yang lebih rendah daripada logam dasar pada suhu ruang.
4. Bila spesimen putus pada logam dasar diluar lasan atau diluar garis fusi las, tes dinyatakan lulus dengan syarat minimum 5% lebih rendah dari kuat tarik minimum yang ditetapkan untuk logam dasar.

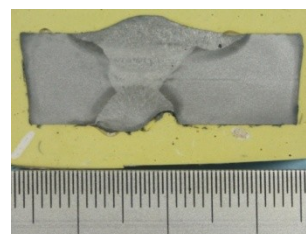
Tabel 2. Hasil Uji Tarik

Tension Test								
No	Code Material	Specification Sample				Tensile Test Result		
		Width	Thick	Dia.	C S A	Yield Strength	Ultimate Strength	Breaking
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	MPa	MPa	
1.	I1	19,86	7,76	-	154,113	395,811	506,120	Weld Metal
2.	L2	19,91	8,36	-	166,447	423,556	504,663	Weld Metal
3.	S3	19,91	5,73	-	114,084	363,766	477,717	Weld Metal
No	F. Yield				F. Ultimate			
	KN	N			KN	N		
1.	61	61000			78	78000		
2.	70,5	70500			84	84000		
3	41,5	41500			54,5	54500		

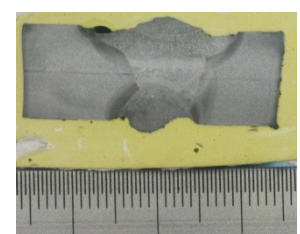
6. Pengamatan Metalografi

Untuk persiapan pengamatan metalografi digunakan spesimen yang sama dengan pengujian laju korosi. Pada pengamatan ini dilakukan foto makro dan foto mikro untuk mengetahui struktur dari hasil las-lasan. Gambar di bawah ini adalah hasil untuk pengamatan metalografi.

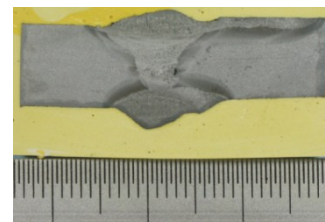
Dari Foto struktur makro di bawah ini, material baja A36 pada pengelasan di bawah air (SMAW) dengan variasi jenis pelindung *flux* elektroda tampak jelas bahwa leburan antar layer yang tidak sempurna dengan terlihatnya garis antar layer dan termakannya juga base metal atau biasa disebut *undercut*. Hal ini disebabkan karena media pengelasan dilakukan dalam keadaan terendam air (*underwater*), sehingga terjadi pendinginan cepat di setiap layer-nya. Lebar daerah HAZ juga tidak teratur, terlihat dengan adanya *overlapping* dan cacat las berupa *undercut* yang memakan *base metal*. Hal ini terjadi akibat saat pengelasan, pandangan pengelas terganggu akibat benda di biaskan oleh air dan juga munculnya gelembung-gelembung gas di air dan pembakaran pelindung *flux* elektroda yang menyebabkan keruhnya air.



a. Pelindung Flux Isolasi



b. Pelindung Flux Lilin



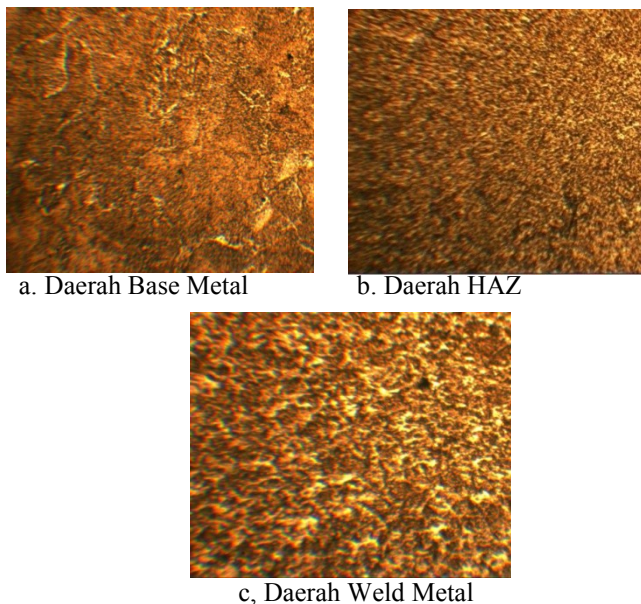
c. Pelindung Flux Sealent

Gambar 1. Hasil Foto Makro

Untuk keperluan pengamatan struktur mikro masing-masing spesimen diambil sampel foto struktur mikro dengan pembesaran (100 X) dan (400 X) di tiga titik. Ketiga titik tersebut adalah *base metal*, *HAZ* dan *Weld Metal*. Pada ketiga titik tersebut sama sekali tidak didapatkan fase *martensit*. Hal

ini dikarenakan elektrode yang digunakan rendah karbon dan material pelat ASTM A36 yang hanya mengandung karbon kurang dari 0,25% C, maka terbentuknya *martensit* suatu hal yang sangat sulit terjadi. Begitu pula daerah *HAZ*, karena material ASTM A36 sendiri hanya mempunyai kadar karbon kurang dari 0,29% C sehingga sangat sulit membentuk fase *martensit* karena kadar karbon yang sangat rendah [1],[6].

Dari gambar struktur mikro dengan perbesaran 100X di bawah ini, yaitu pada spesimen-spesimen yang di las pada media bawah air tampak pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan *HAZ* terdapat kristalisasi antara ferit dan perlit. Daerah base metal tidak mengalami perubahan struktur, karena pada daerah tersebut tidak terkena pengaruh panas.



Gambar 2. Hasil Foto Mikro

7. Uji Kekerasan

Untuk persiapan uji kekerasan digunakan spesimen yang sama dengan pengujian metalografi. Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material *ductile* atau *brittle*. Makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut makin *brittle* [1],[6].

Dari Hasil Kekerasan didapatkan harga kekerasan tertinggi adalah sealent dan daerah yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah daerah HAZ dan material dengan pelindung flux berupa lilin. Terlihat seperti tabel di bawah ini :

No	Spesiment	Lokasi Titik Uji Kekerasan				
		Base Metal	HAZ	Weld Metal	HAZ	Base Metal
1	Isolasi	181,8	289,1	231,9	270,9	282,3
2	Lilin	185,7	429,4	240,2	388,7	184,4
3	Sealent	202,1	415,8	348,5	417,9	208,4

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan

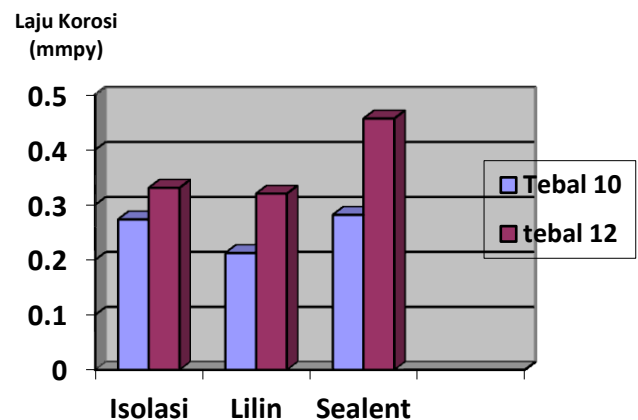
Dari Hasil Kekerasan didapatkan harga kekerasan tertinggi adalah sealent dan daerah yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah daerah HAZ ini disebabkan pada daerah ini temperatur puncak yang dimiliki merupakan temperatur puncak tertinggi dan memiliki kecepatan pendinginan pengelasan yang paling cepat karena transfer panas yang cepat. Penurunan nilai kekerasan terjadi karena adanya hidrogen pada logam cair yang cukup besar. Hidrogen ini akan menyebabkan porositas pada las-lasan.[1]

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Variasi Pelindnug Flux Elektroda Terhadap Laju Korosi

Variasi pelindung flux elektroda pada pengelasan dibawah air mempengaruhi laju korosi pada logam las. Dalam penelitian ini, variasi pelindung flux elektroda yang digunakan adalah Isolasi, lilin dan sealent. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data laju korosi pada masing-masing variasi pelindung flux elektroda pada pengelasan di bawah air yang diujikan. Berikut adalah hasil laju korosi berdasarkan variasi pelindung flux elektrodanya.

Laju Korosi Berdasarkan Pelindung Flux



Gambar 3. Laju Korosi berdasarkan variasi pelindung flux

Berdasarkan grafik di atas diketahui bahwa pengelasan basah bawah air dengan variasi pelindung flux elektroda berupa sealent memiliki laju korosi yang lebih besar daripada dengan variasi pelindung flux berupa lilin dan isolasi. Hal ini dikarenakan pada pengelasan di bawah air pandangan welder saat mengelas terganggu akibat adanya gelembung-gelembung gas, keruhnya air akibat terbakarnya pelindung fluk elektroda yang berupa sealent dan adanya pembiasan pada saat proses pengelasan sehingga hasil las-lasan tidak maksimal. Terbakarnya pelindung fluk elektroda yang berupa sealent juga menyebabkan lebih banyak kerak di las-lasan. Pelindung fluk elektroda berupa Sealent sulit menjaga busur panas sehingga dalam proses pengelasan sering mati atau tidak stabil

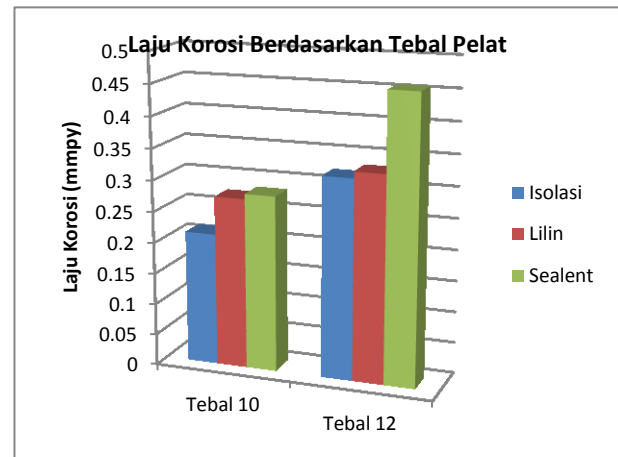
karena sealent sulit terbakar sehingga menutupi ujung fluk yang bersentuhan dengan material yang akan di las.

Selain itu, pada pengelasan di bawah air banyak terdapat cacat las (*discontinuitas*), baik cacat pada permukaan maupun cacat di dalam. Cacat las yang terjadi berupa cacat las undercut dan porosity. Cacat undercut terjadi karena besarnya arus yang digunakan dan pandangan welder terganggu. Sedangkan Cacat berupa porosity ini terbentuk karena pengelasan basah bawah air mengalami kontak langsung dengan air, maka air di sekitar area pengelasan menjadi mendidih dan terionisasi menjadi gas oksigen dan hidrogen. Sebagian gas ini melebur ke area *weld metal* tapi sebagian besar lainnya akan mengalir ke udara. Korosi yang mungkin terjadi pada pengelasan bawah air adalah korosi celah, hal ini dimulai dengan atom hidrogen tunggal menyebar melalui logam. Pada suhu tinggi, peningkatan kelarutan hidrogen memungkinkan hidrogen untuk berdifusi ke dalam logam (atau hidrogen dapat berdifusi di pada suhu rendah, dibantu oleh gradien konsentrasi). Kemudian atom hidrogen kembali bergabung dalam rongga kecil dari matriks logam untuk membentuk molekul hidrogen. Molekul hidrogen yang terperangkap yang menyebabkan terjadinya korosi celah. Lingkungan yang kotor atau larutan yang mengendap di dalam celah adalah merupakan unsur *permeable* dan *diffusif* terhadap terjadinya media korosif yang terperangkap di dalam celah. Zat yang termasuk deposit ini diantaranya kotoran, karat, dan bentuk padat kecil lainnya [6].

2. Analisis Variabel Tebal Pelat Terhadap Laju Korosi

Dari data-data laju korosi di atas terlihat bahwa semakin tebal suatu pelat kecenderungan laju korosinya semakin naik walaupun tingkat kenaikannya relatif kecil. Kecenderungan semakin tebal pelat semakin besar laju korosinya, ini dapat diakibatkan karena jika pelat semakin tebal proses pengelasannya akan mengalami proses panas yang berubah-ubah karena pelat mengalami proses pengelasan beberapa layer.

Laju korosi pengelasan basah bawah air dengan tebal 12 mm lebih besar dari tebal 10 mm. Hal ini dapat dimungkinkan karena pada proses pengelasan basah bawah air masukan panasnya lebih besar untuk tebal 12 mm. Karena masukan panas yang besar dan proses pendinginan yang cepat maka perubahan temperatur yang dialami logam lasan akan mempengaruhi pada kondisi struktur mikro logam lasan dan kontaminasi gas-gas dari atmosfer tentu akan lebih agresif lagi jika dibandingkan dengan pengelasan pelat tebal untuk pengelasan di udara terbuka, ini berarti difusi Hidrogen semakin agresif terhadap pengelasan yang mempunyai *heat input* besar. *Heat input* berbanding lurus dengan besar arus. Sehingga semakin besar arus semakin besar pula masukan panas pada proses pengelasannya [6].



Gambar 4. Laju korosi Berdasarkan Tebal Pelat

Kecenderungan semakin tebal pelat semakin besar laju korosinya, ini dapat diakibatkan karena jika pelat semakin tebal proses pengelasannya akan mengalami proses panas yang berubah-ubah karena pelat mengalami proses pengelasan beberapa layer.

Laju korosi pengelasan basah bawah air dengan tebal 12 mm lebih besar dari tebal 10 mm. Hal ini dapat dimungkinkan karena pada proses pengelasan basah bawah air masukan panasnya lebih besar untuk tebal 12 mm. Karena masukan panas yang besar dan proses pendinginan yang cepat maka perubahan temperatur yang dialami logam lasan akan mempengaruhi pada kondisi struktur mikro logam lasan dan kontaminasi gas-gas dari atmosfer tentu akan lebih agresif lagi jika dibandingkan dengan pengelasan pelat tebal untuk pengelasan di udara terbuka, ini berarti difusi Hidrogen semakin agresif terhadap pengelasan yang mempunyai *heat input* besar. *Heat input* berbanding lurus dengan besar arus. Sehingga semakin besar arus semakin besar pula masukan panas pada proses pengelasannya [6].

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Pengelasan di bawah air dengan variasi jenis pelindung flux elektroda isolasi memiliki nilai laju korosi yang lebih baik daripada menggunakan lilin dan sealent.
2. Semakin tebal pelat semakin besar pula nilai laju korosinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada, Jurusan Teknik Perkapalan, PT.Aquamarine, dosen pembimbing, teman-teman dan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agastama, P. (2010). *Tugas Akhir “Studi Laju Korosi Weld Joint Material A36 pada Underwater Welding”*. Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS
- [2]. American Welding Society. (1999). *Specification for Underwater Welding, AWS D3.6M*. Miami, Florida: ANSI.
- [3]. Department of The Navy Naval Sea System Command. (2002). *Underwater Cutting and Underwater Welding Manual*. Washington: Direction of Commander.
- [4]. ASTM (American Society for Testing and Materials). 2003. *Standard Specification for Carbon Structural Steel, A 36/A 36M – 04*. Amerika: ASTM International
- [5]. ASTM G48. 6 September. *Corrosion Engineering Forum*.
- [6]. Harsono, W. dan Okumura, T. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.